

Лекция 4. Полевые транзисторы

Полевым транзистором называют полупроводниковый электропреобразовательный прибор, ток которого управляется электрическим полем и который предназначен для усиления электрической мощности.

В полевых, или униполярных транзисторах в отличие от биполярных ток определяется движением только основных носителей заряда одного типа – электронов или дырок.

Носители заряда перемещаются по каналу от электрода, называемого **истоком** (И) к электроду, называемому **стоком** (С). С помощью третьего электрода – **затвора** (З) создается поперечное направлению движения носителей заряда управляющее электрическое поле, позволяющее регулировать электрическую проводимость канала, а следовательно, и ток в канале.

Полевые транзисторы изготавливают из кремния и в зависимости от электропроводимости исходного материала подразделяют на транзисторы с р-каналом и n-каналом.

По типу управления током канала полевые транзисторы подразделяются на два вида: **с управляющим р-n-переходом** и **с изолированным затвором**. На рис. 4.1. приведены графические обозначения этих полевых транзисторов.

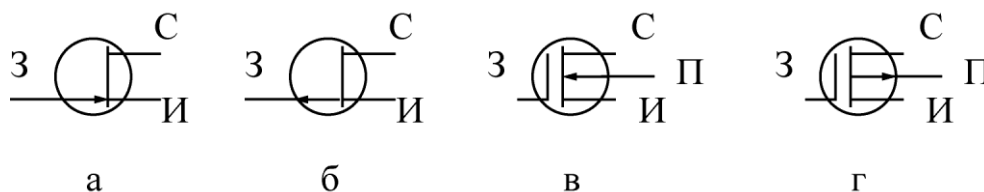


Рис. 4.1. Обозначения полевых транзисторов n и p типов проводимости: а, б – с управляющим р-n-переходом; в, г – с изолированным затвором, где С – сток, З – затвор, И – исток, П – подложка.

Структура и схема включения полевого транзистора с n-каналом и управляющим р-n-переходом показаны на рис. 4.2.

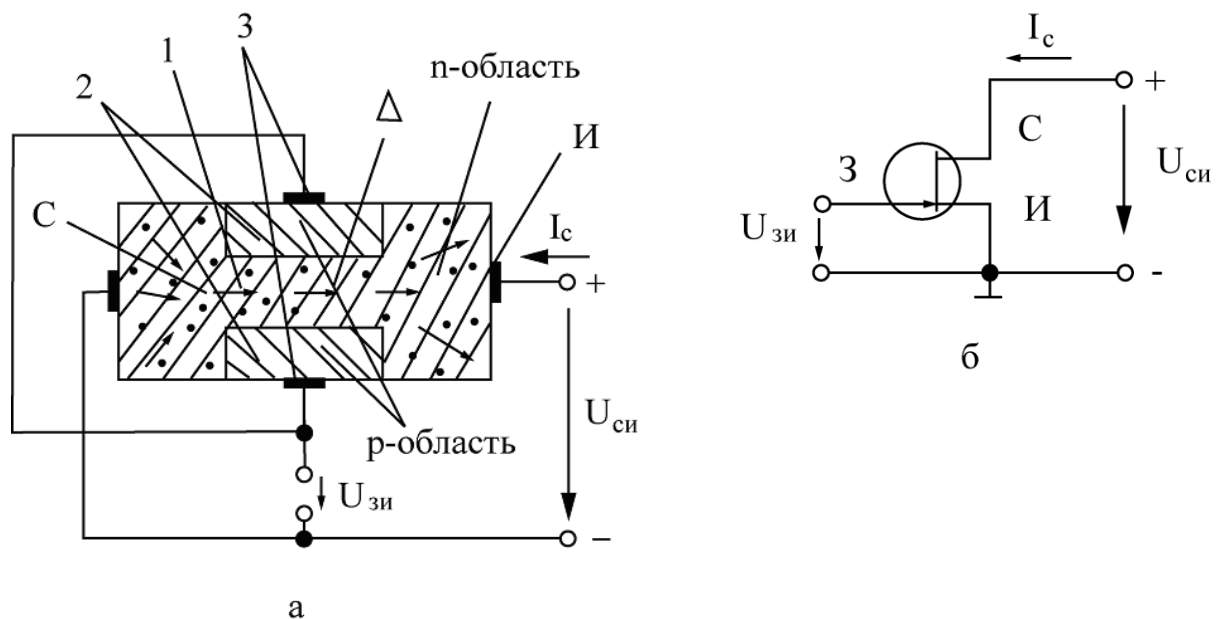


Рис. 4.2. Структура (а) и схема включения (б) полевого транзистора с затвором в виде р-п-перехода и каналом п-типа: 1,2 – области канала Δ и р-п-переходов.

В транзисторе с п-каналом основными носителями заряда в канале являются электроны, которые движутся вдоль канала 1 шириной Δ от истока с низким потенциалом к стоку с более высоким потенциалом, образуя ток стока I_C . Между затвором и истоком приложено обратное напряжение, запирающее р-п-переход 2, образованный п-областью канала и р-областью затвора. Таким затвором, в полевом транзисторе с п-каналом полярности приложенных напряжений следующие: $U_{си} > 0$, $U_{зи} \leq 0$. В транзисторе с р-каналом основными носителями заряда являются дырки, которые движутся в направлении снижения потенциала, поэтому полярности приложенных напряжений должны быть иными: $U_{си} < 0$, $U_{зи} \geq 0$.

При изменении электрического потенциала на затворе меняется ширина р-п переходов 2, что приводит к изменению ширины Δ канала 1. Последнее меняет количество электронов (дырок), движущихся через сечение канала, и соответственно – ток стока I_C .

ВАХ полевого транзистора приведены на рис. 4.3. Здесь зависимости тока стока I_C от напряжения $U_{си}$ при постоянном напряжении на затворе $U_{зи}$ определяют выходные, или стоковые, характеристики полевого транзистора (см. рис. 1.17,а). На начальном участке характеристик, $U_{си} + |U_{зи}| < U_{з\text{ап}}$ ток I_C возрастает с увеличением $U_{си}$. При повышении напряжения сток-исток до $U_{си} = U_{з\text{ап}} - |U_{зи}|$ происходит перекрытие канала и дальнейший рост тока I_C прекращается (участок насыщения). Отрицательное напряжение $U_{зи}$ между затвором и истоком приводит к меньшим значениям напряжения $U_{си}$ и тока I_C , при которых происходит перекрытие канала. Область насыщения справа от пунктирной линии является рабочей областью выходных характеристик полевого транзистора.

Дальнейшее увеличение напряжения $U_{си}$ приводит к пробую

р-n-перехода между затвором и каналом и выводит транзистор из строя. По выходным характеристикам может быть построена передаточная характеристика $I_C=f(U_{ЗИ})$ (рис.4.3,б). На участке насыщения она практически не зависит от напряжения $U_{СИ}$. Входная характеристика полевого транзистора – зависимость тока утечки затвора I_3 от напряжения затвор – исток – обычно не используется, так как при $U_{ЗИ} \leq 0$ р-n-переход между затвором и каналом закрыт и ток затвора очень мал ($I_3=10^{-8} \div 10^{-9}$ А), поэтому во многих случаях им можно пренебречь.

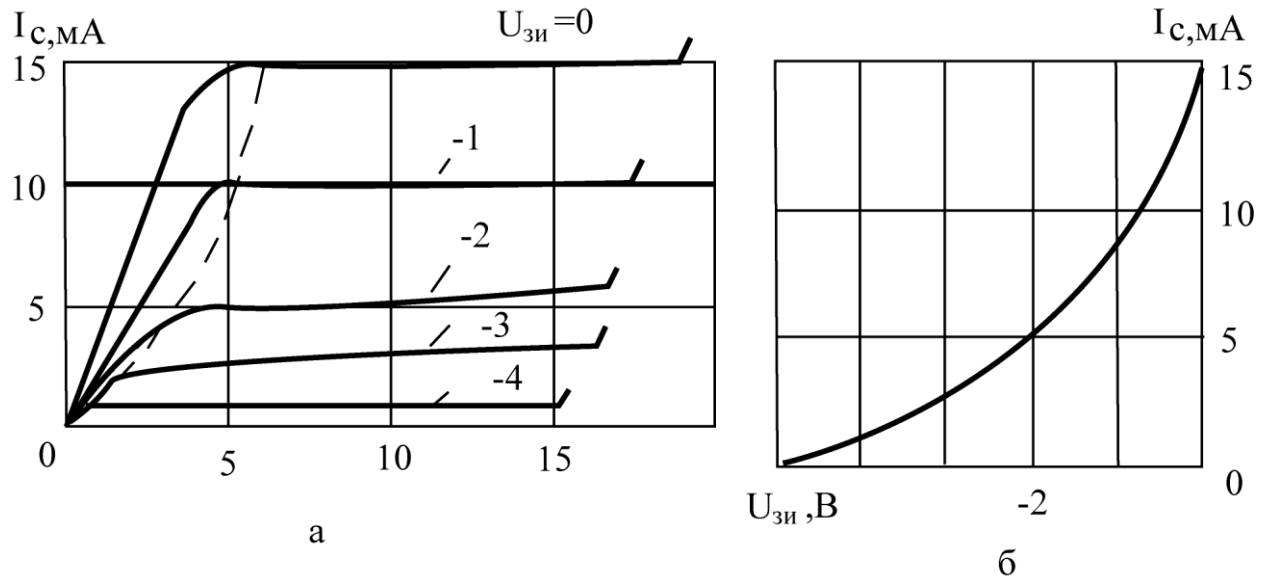


Рис. 4.3. Выходные (а) и передаточная (б) вольт-амперные характеристики полевого транзистора

В настоящее время широкое распространение получили полевые транзисторы, в которых металлический затвор изолирован от полупроводника слоем диэлектрика. Такие транзисторы называют **МДП-транзисторами** (металл – диэлектрик – полупроводник) или **МОП-транзисторами** (металл – оксид – полупроводник). В последнем случае под оксидом понимают оксид кремния, который является высококачественным диэлектриком. Их входное сопротивление достигает 10^{15} Ом, т.е. ток затвора на несколько порядков ниже тока полевых транзисторов с управляющим р-n-переходом.

ВАХ полевых транзисторов с изолированным затвором в основном аналогичны характеристикам полевых транзисторов с управляющим р-n-переходом.

Основными параметрами полевых транзисторов являются крутизна характеристики передачи

$$S = \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} \text{ при } U_{СИ} = \text{const}$$

и дифференциальное (внутреннее) сопротивление стока (канала) на участке насыщения

$$R_i = \frac{dU_{СИ}}{dI_C} \text{ при } U_{ЗИ} = \text{const}$$

В качестве предельно допустимых параметров нормируются: максимально допустимые напряжения $U_{СИ\max}$ и $U_{ЗИ\max}$; максимально допустимая мощность стока $P_{С\max}$; максимально допустимый ток стока $I_{С\max}$. Значения параметров полевых транзисторов приведены в табл. 1.3.

Таблица 4.2. Значения параметров полевых транзисторов

Тип транзистора	$S, \text{мА/В}$	$R_i, \text{МОм}$	$U_{СИ\max}, \text{В}$	$P_{С\max}, \text{Вт}$	$I_{С\max}, \text{мА}$	$I_z, \text{А}$
С управляющим р-п-переходом	1-20	0,1-0,5	5-100	0,1-10	10-1000	10^{-8} - 10^{-9}
С изолированным затвором	0,5-50	0,1-0,5	5-1000	0,01-50	0,1-5000	10^{-10} - 10^{-15}

Межэлектродные емкости полевых транзисторов между затвором и стоком $C_{зс}$, а также затвором и истоки $C_{зи}$, обычно не превышают $1 \div 20 \text{ пФ}$.

Основными преимуществами полевых транзисторов являются:

- 1) высокое входное сопротивление;
- 2) малый уровень собственных шумов в измерительных схемах;
- 3) высокая плотность распространения элементов при изготовлении интегральных схем

К недостаткам полевых транзисторов следует отнести сравнительно большие межэлектродные емкости.

Тиристоры.

Тиристоры – это полупроводниковые приборы с тремя или более р-п-переходами, которые имеют два устойчивых состояния и применяются как мощные электродные ключи.

Тиристоры имеют два вывода от крайних чередующихся р- и п- областей и управляющий электрод (рис. 4.4,а).

Вывод, соединенный с крайней р-областью, называется анодом (А), а с крайней п-областью катодом (К). Внешнее напряжение U является прямым по отношению к р-п-переходам P_1 и P_3 и обратным для перехода P_2 , поэтому переходы P_1 и P_3 открыты (подобно открытым диодам), а переход P_2 заперт. В результате напряжение U почти целиком приложено к P_2 и через тиристор протекает небольшой ток, являющийся обратным током I_0 р-п-перехода.

С увеличением напряжения U ток через тиристор несколько возрастает (Участок ОВ характеристики 1.18 в), а при достижении напряжением значения $U_{вкл}$ р-п-переход P_2 пробивается (электрический пробой) и ток лавинообразно увеличивается (участок ВCD рис. 1.18 в) и ограничивается только

сопротивлением нагрузки. Изменяя величину тока управляющего электрода I_y меняю величину напряжения включения $U_{\text{вкл}}$ тиристора.

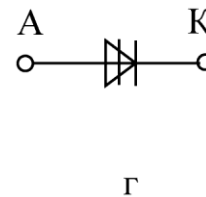
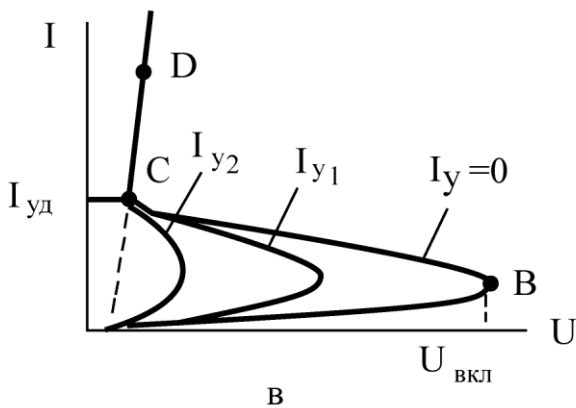
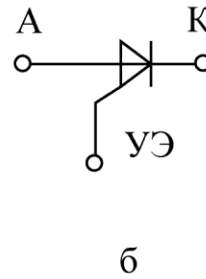
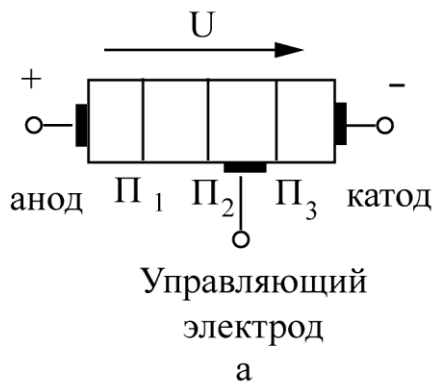


Рис.4.4. Тиристор:
(а) структура; (б) условное обозначение; (в) вольт-амперные характеристики; (г) условное обозначение динистора

Тиристоры нашли свое применение в силовой электронике и электротехнике – там, где требуется формирование мощных питающих напряжений постоянного или переменного тока, питающих напряжений с регулируемой частотой, специальной формы. В частности, на основе тиристорov разрабатываются устройства регулирования частотой вращения электродвигателей, в том числе в приводах станков.